

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11 N° de publication :
(à utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 706 141

21 N° d'enregistrement national : 93 06851

51 Int. CF : B 25 J 3/04 , G 05 B 13/04 //G 05 D 15/01 (G 05 D 13/04) (H 01 H 25/04)

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 08.06.93.

30 Priorité :

43 Date de la mise à disposition du public de la demande : 16.12.94 Bulletin 94/50.

55 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71 Demandeur(s) : MATRA MARCONI SPACE FRANCE
Société Anonyme — FR.

72 Inventeur(s) : André Guy.

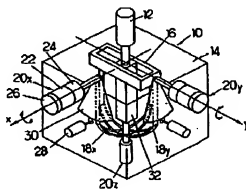
73 Titulaire(s) :

74 Mandataire : Cabinet Plasseraud.

54 Dispositif de commande à retour d'effort synthétique.

57 Le dispositif comprend une platine (14) portant un organe (12) déplaçable manuellement suivant au moins deux directions orthogonales (x, y), au moins deux actuateurs actifs (20_x, 20_y) capables chacun d'exercer sur l'organe un effort suivant l'une des directions, et des capteurs de position (26, 28) permettant de détecter l'emplacement de l'organe suivant les deux directions. Chaque actuateur est commandable en couple. La liaison d'entraînement entre chaque actuateur (20_x, 20_y) et l'organe déplaçable est réversible et comporte une démultiplication de mouvement et les inertias dans les deux directions de manipulation sont du même ordre.

Le dispositif comporte de plus une unité électronique de pilotage recevant des signaux provenant au moins des capteurs de position (26, 28) et commandant les actuateurs.



FR 2 706 141 - A1

2706141

1

5 DISPOSITIF DE COMMANDE A RETOUR D'EFFORT SYNTHETIQUE

La présente invention a pour objet un dispositif de commande à retour d'effort synthétique et elle est utilisable dans toutes les installations où l'on souhaite donner, à un opérateur manoeuvrant un organe de commande, une sensation représentative des déplacements de l'organe ou des effets de sa commande, sous forme de "retour d'effort".

L'invention concerne plus particulièrement un dispositif de commande à retour d'effort synthétique comprenant une platine portant un organe déplaçable manuellement suivant au moins deux directions orthogonales, au moins deux actuateurs capables chacun d'exercer sur l'organe un effort suivant l'une des directions et des capteurs de position permettant de détecter l'emplacement de l'organe suivant les deux directions.

On connaît déjà des dispositifs de commande de ce genre, qualifiés d'actifs du fait de la présence d'actuateurs et non pas de simples organes passifs tels que des ressorts de rappel. Mais le couplage entre le capteur et les actuateurs est assuré par un dispositif électro-mécanique qui permet seulement d'ajuster le point d'équilibre de l'organe déplaçable et de faire varier le rapport de proportionnalité entre le déplacement de l'organe et la force de rappel exercée par les actuateurs, c'est-à-dire la raideur de rappel. On parle alors de "trim asservi".

Il existe de nombreuses installations dans lesquelles il serait souhaitable de commander le retour d'effort de façon à ce qu'il corresponde : soit à une interaction physique mesurée, par exemple, en téléopération, de faire restituer par la poignée de commande les efforts perçus par un robot manipulateur en contact avec l'environnement ;

- soit à un effort virtuel (synthétique) permettant d'émuler :
- 40 - des forces de rappel élastique (raideur),

2706141

2

- des forces de frottement (par exemple frottement visqueux),

- une notion de contact et de suivi de contour,

- un champ de force, qui peut être répulsif vis à vis d'obstacles ou attractif vis à vis d'un corridor,

5 à partir d'un modèle du phénomène recherché. L'invention vise à fournir un dispositif de commande répondant à de telles exigences et aisément programmable.

Il apparaissait a priori difficile d'obtenir un tel résultat, en dépit de la puissance des moyens de calcul

10 actuellement disponibles, du fait des phénomènes mécaniques et des couplages entre partie mécanique et partie électronique.

L'invention utilise la constatation qu'il est possible d'arriver au résultat recherché à condition de faire disparaître des caractéristiques néfastes de la partie mécanique

15 du dispositif et de concevoir de nouveaux moyens électroniques associés.

L'invention propose dans ce but un dispositif du genre ci-dessus défini, caractérisé en ce que chaque actuateur est commandable en couple, en ce que la liaison d'entraînement

20 entre chaque actuateur et l'organe déplaçable est réversible et comporte une démultiplication de mouvement, en ce que les inerties dans les deux directions de manipulation sont du même ordre, et en ce que le dispositif comporte de plus une

25 unité électronique de pilotage recevant des signaux provenant des capteurs de position et commandant les actuators, ladite unité produisant ou mémorisant un modèle mathématique du champ de force à réaliser dans un espace de travail,

30 défini suivant les deux directions, ayant des moyens pour comparer l'état courant défini par les signaux des capteurs au dit modèle et ayant des moyens pour générer des courants d'alimentation des actuators, provoquant l'effet de retour d'effort sur l'organe déplaçable.

Il est important que les inerties dans les deux directions de manipulation soient du même ordre, c'est-à-dire que

35

2706141

3

les moments d'inertie de l'organe déplaçable et des éléments qu'il entraîne soient pratiquement la même quelle que soit la direction de déplacement de l'organe. Dans le cas le plus fréquent (celui où l'organe est basculant), cette condition ne serait pas remplie en utilisant le montage classique à la cardan motorisé dont le cadre intermédiaire, qui n'est entraîné globalement que par la composante du déplacement dans une direction, ne répond pas à cette condition.

Suivant un mode avantageux de réalisation de l'invention, les inerties sont rendues sensiblement du même ordre grâce à une constitution particulière de la partie mécanique du dispositif, l'organe déplaçable est monté sur la platine de façon à pouvoir basculer dans toutes les directions et présente un tronçon emprisonné dans deux guides de maintien suivant deux directions orthogonales, pouvant basculer par rapport à la platine, et les actuateurs sont portés par la platine et couplés mécaniquement aux guides.

Les actuateurs seront en règle générale des moteurs électriques rotatifs à courant continu et la démultiplication de mouvement sera effectuée par un réducteur réversible ayant un rapport au moins égal à 5 et avantageusement d'environ 50. Il existe à l'heure actuelle quelques modèles de réducteurs réversibles ayant un rapport de réduction et dans la pratique on sera généralement amené à utiliser ceux désignés par l'appellation anglo-saxonne "harmonic drive" comportant deux couronnes dentées concentriques dont l'une est à enveloppe circulaire et l'autre à enveloppe elliptique.

Les capteurs de position peuvent être liés au moteur électrique de façon à mesurer directement les déplacements, en amont des réducteurs éventuels. Ils peuvent toutefois être séparés de ces moteurs.

Souvent une commande suivant les trois directions de l'espace est nécessaire. Dans ce cas, le dispositif peut être constitué de façon que l'organe déplaçable soit, de plus, orientable autour d'un axe qui reste en permanence

2706141

4

orthogonal à l'une des deux premières directions. Le dispositif comporte alors un troisième actuateur qui peut avoir un stator entourant le dit organe, relié à la platine et un rotor attelé au dit organe par l'intermédiaire d'un réducteur.

Cette solution est plus avantageuse et correspond mieux, dans la plupart des cas, aux mouvements à commander que celle consistant à mesurer un déplacement longitudinal de l'organe déplaçable et à exercer un effort longitudinal.

L'unité électronique de pilotage peut être réalisée en mettant en oeuvre des moyens de calcul d'un des types classiques à l'heure actuelle, comportant une mémoire programmable dans laquelle est généré le modèle mathématique du champ de force à réaliser. Les moyens de calcul de l'unité de pilotage auront, suivant l'application recherchée, une répartition différente entre parties logicielle et matérielle.

L'exploitation du modèle mathématique peut notamment être de la forme :

$$\vec{C} = [K] (\vec{P} - \vec{P}_0) + [H] (\vec{V} - \vec{V}_0) + [G] (\vec{F} - \vec{F}_0) + A \quad (1)$$

où :

C est le couple ou la force résultant exercée par les actuateurs;

P est la position de l'organe déplaçable, mesurée par rapport à une position de référence P_0 ;

V est le vecteur vitesse de l'organe déplaçable, et V_0 est un vecteur vitesse de référence;

F est le vecteur force, éventuellement mesuré, et F_0 un vecteur force de référence;

[K], [H] et [G] sont des matrices mémorisées représentant respectivement une raideur mécanique simulée, un amortissement par frottement visqueux simulé et un facteur multiplicatif d'effort au niveau de l'organe déplaçable par rapport au champ de force du modèle mémorisé;

2706141

5

A est une constante.

Suivant la nature du champ de forces à simuler, les matrices auront un nombre de termes plus ou moins élevé ; elles auront au plus quatre termes non nuls dans le cas d'un organe qui n'est déplaçable que suivant deux directions. Certaines matrices peuvent être nulles lorsqu'un paramètre n'intervient pas, par exemple la vitesse.

Les matrices peuvent être fixées, dans la mesure où le champ de force est immuable. Elles peuvent être réactualisables par un système externe de façon à modifier le champ de force.

Les moyens pour générer les courants d'alimentation des actionneurs peuvent appartenir à un bloc générateur de retour d'effort qui comporte également les moyens qui reçoivent les signaux des capteurs représentant au moins deux variables courantes (position et vitesse de déplacement de l'organe par exemple) et ayant des moyens de comparaison entre les variables courantes et des valeurs de référence respectives. Ces dernières valeurs peuvent être générées par un bloc contenant le modèle mathématique mémorisé, recevant également les variables courantes et les comparant au modèle.

La cadence de restitution des valeurs de référence par le bloc mémorisant le modèle peut être très largement inférieure à la cadence de fonctionnement du bloc générateur de retour d'effort, donc à la cadence de rafraîchissement des commandes des actionneurs.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit d'un mode particulier de réalisation, donné à titre d'exemple non limitatif. La description se réfère aux dessins qui l'accompagnent, dans lesquels :

- la figure 1 est un schéma de principe d'un ensemble électro-mécanique utilisable dans le dispositif ;
- la figure 2 est une vue en coupe d'une constitution

2706141

6

possible de l'ensemble suivant la figure 1 :

- la figure 3 est une représentation schématique d'une architecture possible du dispositif complet ;

5 - la figure 4 est un schéma synoptique montrant une constitution possible de l'unité électronique du dispositif de la figure 3 ;

- les figures 5A, 5B, 6, 7 et 8 sont des diagrammes montrant des profils de force susceptibles d'être obtenus conformément à l'invention.

10 Le dispositif peut être regardé comme comportant un ensemble électro-mécanique et une unité électronique de pilotage qui seront successivement décrits.

15 L'ensemble électro-mécanique dont la constitution de principe est montrée en figure 1 comporte un organe de manipulation 12 porté par une platine 14 par l'intermédiaire d'un mécanisme de liaison permettant à l'organe de basculer autour de deux directions mutuellement orthogonales x et y. La platine porte, pour chaque axe d'articulation, un actuateur, un réducteur et un capteur
20 qui constituent un sous-ensemble dans le cas illustré sur la figure 1.

25 Le mécanisme de liaison, qui autorise un basculement autour d'un axe quelconque dans le plan xy, comporte un cadre 16 sur lequel l'organe tourne autour de l'axe x et qui peut tourner sur la platine autour de l'axe y. L'organe 12 est emprisonné, à distance de ses axes de basculement, dans deux arceaux 18_x et 18_y dont chacun est entraînable par l'un des sous-ensembles 20_x et 20_y, de façon à exercer une force sur l'organe 12.

30 Le sous-ensemble d'entraînement de l'arceau 18_x ou 18_y comprend un moteur 22, un réducteur 24 ayant un rapport de réduction au moins égal à cinq et un codeur numérique constituant un capteur 26. Le moteur 22 et le réducteur 24 sont constitués de façon à être réversibles et le moteur

2706141

7

est commandé en couple.

5 Dans le cas illustré, un détecteur d'angle 28, redondant du fait de la présence du capteur 26, est relié à la sortie du réducteur 24 par un secteur denté 30. La présence simultanée du capteur 24 et du détecteur 28 permet de vérifier la cohérence des mesures. Mais l'un ou l'autre des deux serait suffisant à la mise en oeuvre de l'invention.

10 La disposition qui vient d'être décrite permet d'obtenir des moments d'inertie très proches l'un de l'autre, puisque les sous-ensembles qui constituent les éléments lourds sont portés par la platine 14.

15 La contrainte que représente la réalisation d'arceaux 18_x et 18_y présentant un faible jeu et des frottements réduits est compatible avec les technologies courantes à l'heure actuelle.

20 L'ensemble électro-mécanique 10 montré en figure 1 est également prévu pour permettre une commande par rotation autour de z et/ou en translation selon z. Pour cela l'organe 12 ne tourne pas directement sur le cadre 16. Il est monté rotatif dans un fourreau 32 et il est couplé à l'arbre de sortie d'un sous-ensemble supplémentaires 20_x qui peut avoir une constitution comparable aux sous-ensembles 20_x et 20_y pour des raisons d'homogénéité.

25 Il est important que l'ensemble moteur 22-réducteur 24 soit réversible et en même temps qu'il ait un rapport de démultiplication élevé. De plus, il doit être sans jeu appréciable, notamment pour que l'information fournie par le capteur 26 soit représentative de la position réelle de
30 l'organe de commande. On peut notamment utiliser un réducteur du type dit "harmonic drive" ayant un faible volume, dont le jeu ne dépasse pas quelques minutes d'arc, parfaitement réversible, permettant d'obtenir aisément un rapport de réduction élevé, pouvant aller jusqu'à 100 et

2706141

8

au delà. Un tel réducteur comporte une couronne dentée
extérieure à enveloppe circulaire, une couronne intérieure
dentée à enveloppe elliptique, engrenant avec la couronne
le long du grand axe de l'ellipse et enfin un générateur
5 d'oscillations permettant de déplacer la zone d'engre-
nement des dents. La couronne interne a généralement deux
dents de moins que la couronne externe. Ainsi une rotation
de 180° du générateur provoque un déplacement relatif des
couronnes un pas égal à une dent. Pour la mise en oeuvre
10 de l'invention, un rapport de réduction d'environ 50 est
généralement acceptable.

Les moteurs peuvent être des moteurs électriques
commandés en couple de type connu, la seule condition
impérative étant que ces moteurs présentent une caracté-
15 ristique couple-intensité sensiblement linéaire et une
faible fluctuation du couple exercé en fonction de leur
angle d'orientation. Dans la pratique, on utilisera
généralement des moteurs à courant continu à balais ou
sans balais (à commutation électronique).

20 L'ensemble électro-mécanique peut présenter la consti-
tution matérielle montrée en figure 2. On voit que la
platine porte le sous-ensemble 20, dont l'arbre de sortie
entraîne l'arceau 18_x. Le sous-ensemble 18_x (non représen-
té) qui entraîne l'arceau 18_x est lui aussi porté par la
25 platine, alors que dans un montage à la cardan classique
il serait porté par le cadre 16.

La partie électro-mécanique peut également comporter
des capteurs d'effort exercé, qui peuvent être intégrés
dans l'organe 12 ; souvent ces capteurs ne sont pas néces-
30 saires car l'effort exercé par les moteurs est représenta-
ble par les courants qui traversent ces moteurs.

On décrira maintenant, en faisant référence aux
figures 3 et 4, une constitution possible d'unité élec-
tronique de pilotage 20, destinée à un dispositif de

2706141

9

commande suivant trois axes.

5 Du point de vue fonctionnel, l'unité de pilotage 34 peut être regardée comme ayant une unité de puissance 36 et une unité informatique 38, reliée à une console graphique 40. L'unité de puissance ne présente pas de caractère original majeur. Elle comporte un module 44 destiné à fournir la puissance nécessaire aux moteurs, un module 46 d'alimentation des capteurs et des variateurs 42 transformant les ordres reçus de l'unité informatique en courant d'alimentation des moteurs 20.

10 Les fonctions de l'unité informatique peuvent être réparties en un bloc 48 contenant le modèle mathématique mémorisé, assurant la gestion des effets sur le domaine de travail, et un bloc générateur de retour d'effort 50 qui constitue une boucle d'asservissement numérique. Chaque bloc peut comporter une unité centrale de calcul 52 ou 54. L'unité 52 attaque la console 40, lorsqu'elle est prévue, par l'intermédiaire d'une carte graphique 56. Le bloc générateur de retour d'effort comporte également des éléments d'entrée constitués par des codeurs courant-
15 fréquence 58, des convertisseurs analogiques-numériques et numériques-analogiques 60 et d'autres éléments annexes dont le rôle n'est pas essentiel.

20 Les fonctions remplies par les blocs 48 et 50 sont indiquées de façon schématique sur la figure 4 où, pour simplifier, les entrées et sorties correspondant aux différents axes ne sont pas séparées.

25 Les données d'entrée provenant de l'ensemble électro-mécanique 10 sont appliquées à des circuits d'acquisition 62 affectés à la force F, mesurée par exemple par un capteur intégré à l'organe 12 ou déduite des courants traversant les moteurs, la position P de l'organe 12 et éventuellement sa vitesse de déplacement V. Les circuits
30 62 effectuent un échantillonnage à fréquence élevée. En

2706141

10

général une fréquence d'échantillonnage d'environ 1 kHz donnera des résultats satisfaisants. Les échantillons codés et numérisés sont utilisés dans le bloc 50 et sont également adressés au bloc 48 à l'aide de circuits de sous-échantillonnage 64, mais à une fréquence plus faible, qui dépend de la dynamique jugée acceptable pour les gestas de commande de l'organe 12.

Le bloc 48 utilise des informations reçues à cadence réduite de l'ensemble électro-mécanique pour effectuer des mises à jour. Il peut comporter une mémoire tampon numérique d'entrée 66 suivie d'un circuit 68 de détection d'état qui attaque l'une des entrées d'une carte de calcul 70 donnant la cartographie des efforts à générer en fonction des coordonnées x et y. Les profils d'effort typiques peuvent être prédéfinis séparément, prêts à être activés dynamiquement (fonction 72).

A partir de là, l'unité de calcul élabore C, représentatif du retour d'effort instantané désiré, suivant la formule (1) ci-dessus (fonction 74).

Dans le cas par exemple d'un ensemble électro-mécanique deux axes, le premier terme de la formule (1) peut s'écrire :

$$C = \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} \\ K_{yx} & K_{yy} \end{bmatrix} \left[\vec{F}(x,y) - \vec{F}_0(x,y) \right] + \text{etc...}$$

Les termes P_0 , V_0 et F_0 seront souvent intégrés dans la constante A.

Le profil d'effort affecté à la carte 70 peut être permanent. Mais il peut aussi être prévu de recharger la carte à cadence faible à partir d'un système extérieur ou d'une commande manuelle tenant compte des données affichées sur la console graphique. Dans ce cas, la carte 70 comporte une interface 76 vers l'extérieur. Ce cas est par exemple celui du pilotage d'un avion contraint à rester

2706141

11

dans un corridor de largeur variable.

La boucle d'asservissement proprement dite se trouve dans le bloc 50. Elle comporte un tampon 78 destiné à conserver les termes de configuration et les matrices K (représentant la raideur), H (représentant l'amortissement, G (représentant le gain) et la constante A.

Le calcul de chacune des différences entre la valeur courante de F , V , P et la valeur de référence \bar{F}_0 , \bar{V}_0 , \bar{P}_0 s'effectue dans un soustracteur vectoriel particulier tel que 80 alimenté d'une part par les circuits d'acquisition 62, d'autre part par des tampons 82 reliés à la sortie de la fonction 74. Le produit de chaque différence par la matrice respective G, H, K s'effectue dans un multiplicateur 84. Enfin les termes obtenus sont additionnés dans un sommateur vectoriel 86, suivant une configuration fournie par le tampon 78. Les calculs doivent s'effectuer à cadence élevée, généralement la cadence d'échantillonnage par les circuits d'acquisition 62.

La sortie du sommateur est adressée à l'unité de puissance 36, éventuellement par l'intermédiaire d'un convertisseur numérique-analogique 60.

Les transferts d'information entre les blocs 48 et 50 peuvent s'effectuer par un protocole classique, à cadence lente (75 Hz dans le cas envisagé plus haut).

Le dispositif qui vient d'être décrit permet d'ajuster la loi de variation de la force en fonction de la position et/ou de la vitesse, c'est-à-dire un profil de force programmable selon l'effet recherché (fixé une fois pour toutes ou évolutive).

Il est évidemment possible de réaliser un mode "libre", appelé isotonique, c'est-à-dire laissant la possibilité de déplacer l'organe mécanique sans aucun effort de retour, soit de façon passive, soit en utilisant les signaux fournis par des capteurs d'effort.

2706141

12

Il est également possible de simuler un frottement constant, c'est-à-dire un frottement solide, en donnant une valeur constante. Un frottement visqueux peut être simulé en donnant à toutes les matrices, sauf H , la valeur zéro.

Les figures 5A à 7 montrent d'autres profils de force qu'il est possible d'obtenir.

La figure 5A représente une fonction classique de manche de pilotage (rappel élastique vers un point neutre avec un effet de crantage). Dans le cas illustré, deux raideurs successives sont rencontrées à partir du point vers lequel s'effectue le rappel. Cette fonction, applicable notamment en aéronautique, peut être émulée par les lois de commande. Elle est totalement paramétrable et ajustable de façon dynamique.

La figure 5B montre une fonction qu'on peut qualifier de "corridor" dans la direction x : la force F_x , qui s'oppose aux déplacements que doit exercer l'opérateur, augmente brutalement lorsque l'opérateur tente de sortir d'un domaine D autour d'une position de référence en x .

La figure 6 combine deux fonctions, l'une simulant un frottement visqueux et l'autre simulant un mur, toujours selon la direction x . Le segment en ligne double indique une région dans la direction x pour laquelle la force F_x augmente proportionnellement à la vitesse. Arrivé au point X , l'opérateur, s'il tente de se déplacer davantage suivant x , rencontre une force qui augmente rapidement jusqu'à un maximum F en M .

Lorsque le but recherché est de suivre un contour tel que celui indiqué sur la figure 7, le profil de force doit comporter une zone isotonique I où le déplacement est libre et une zone frontière II où il y a génération de retour d'effort représentatif d'un contact simulé (fonction "mur"). Dans le cas de la figure 7, la carte 70

2706141

13

gènera des matrices K, H, G et la constante A de façon à provoquer un accroissement brutal de la force lorsque le déplacement de l'organe mobile se rapproche des limites d'un cercle défini par l'équation $x^2 + y^2 = \text{constante}$.

5 Dans le cas d'un tel suivi de contour, il est souhaitable de faire suivre le sommateur 86 d'un circuit de correction destiné à rendre l'effort de retour sensiblement normal au contour à suivre. Dans le cas par exemple d'une pénétration à l'intérieur du contour suivant la
10 flèche W de la figure 8, l'effort de rappel que génèrerait la loi générale serait dirigé suivant T sur la figure 8, tendant à ramener le point représentatif de l'organe au point d'entrée. Le circuit correcteur peut être programmé de façon à maintenir dans tous les cas l'effort de rappel
15 N orthogonal au contour, défini par une équation mathématique.

On voit que le dispositif permet, avec une structure d'asservissement unique, d'obtenir une loi quelconque de retour d'effort, modifiable par une programmation simple.

2706141

14

REVENDECATIONS

1. Dispositif de commande à retour d'effort synthétique comprenant une platine (14) portant un organe (12) déplaçable manuellement suivant au moins deux directions orthogonales (x,y), au moins deux actuateurs actifs (20,20) capables chacun d'exercer sur l'organe un effort suivant l'une des directions, et des capteurs de position (26;28) permettant de détecter l'emplacement de l'organe suivant les deux directions,

caractérisé en ce que chaque actuateur est commandable en couple, en ce que la liaison d'entraînement entre chaque actuateur (20,20) et l'organe déplaçable est réversible et comporte une démultiplication de mouvement, en ce que les inerties dans les deux directions de manipulation sont du même ordre, et

en ce que le dispositif comporte de plus une unité électronique de pilotage (34) recevant des signaux provenant au moins des capteurs de position (26;28) et commandant les actuateurs, la dite unité générant ou mémorisant un modèle mathématique du champ de forces à réaliser dans un espace de travail, défini suivant les deux directions et ayant, des moyens pour comparer l'état courant défini par les signaux des capteurs au dit modèle et des moyens pour générer des courants d'alimentation des actuateurs, provoquant un effet de retour d'effort sur l'organe déplaçable.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'organe déplaçable est monté sur la platine de façon à pouvoir basculer dans toutes les directions et présente un tronçon emprisonné dans deux guides (18,18) de maintien suivant deux directions orthogonales, ces guides pouvant basculer par rapport à la platine, autour

2706141

15

de deux axes orthogonaux de basculement, et les actuateurs (20, 20) sont portés par la platine et couplés mécaniquement aux guides.

3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les actuateurs sont des moteurs électriques rotatifs à courant continu portés par la platine et ce que la démultiplication est effectuée par un réducteur réversible ayant un rapport d'au moins cinq.

4. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que les capteurs de position (26) sont liés aux moteurs électriques.

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'organe déplaçable est, de plus, orientable autour d'un axe (3) orthogonale aux deux directions ou déplaçable le long de cet axe et en ce que le dispositif comporte un troisième actuateur (20) ayant un stator entourant le dit organe, interposé entre le dit organe et la platine, et ayant un rotor attelé au dit organe par l'intermédiaire d'un réducteur provoquant une translation ou une rotation.

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le modèle mathématique est mémorisé sous forme d'une relation entre les efforts à retourner suivant au moins les dites deux directions, d'une part, et au moins un parmi trois paramètres parmi la position, la vitesse de déplacement de l'organe et la force mesurée sur l'organe par un capteur supplémentaire, d'autre part.

7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que le modèle mathématique est de la forme :

$$\vec{C} = [K] (\vec{P} - \vec{P}_0) + [H] (\vec{V} - \vec{V}_0) + [G] (\vec{F} - \vec{F}_0) + A \quad (1)$$

où :

35 C est le couple ou la force résultant exercée par les

2706141

16

actuateurs;

P est la position de l'organe déplaçable, mesurée par rapport à une position de référence P_0 ;

V est le vecteur vitesse de l'organe déplaçable et V_0 un vecteur vitesse de référence;

F est le vecteur force, éventuellement mesuré, et F_0 un vecteur force de référence;

[K], [H] et [G] sont des matrices mémorisées représentant respectivement la raideur mécanique simulée, l'amortissement par frottement visqueux simulé et un facteur multiplicatif d'effort au niveau de l'organe déplaçable par rapport au champ de force du modèle mémorisé;

A est une constante;

certaines des matrices pouvant être nulles et les matrices ayant au plus quatre termes non nuls dans le cas d'un organe déplaçable uniquement suivant deux directions.

8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'une au moins des matrices [K], [H], et [G] est réactualisable en vue d'ajuster la loi de retour d'effort.

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens pour générer les courants d'alimentation comprennent un bloc générateur de retour d'effort (50) prévu pour acquérir au moins deux variables courantes constituées par la position et la vitesse de déplacement, à partir des signaux fournis par les capteurs, et des moyens de comparaison entre les dites variables courantes et des valeurs de référence respectives, et en ce que les moyens de comparaison constituent un bloc (48) recevant le modèle mathématique mémorisé recevant les variables courantes, les comparant au modèle et générant les valeurs de référence (P_0 , V_0 , F_0).

10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que la cadence de restitution des valeurs de

2706141

17

référence par le bloc (48) mémorisant le modèle est inférieure à la cadence de fonctionnement du bloc générateur de retour d'effort (50).

- 5 11. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que le modèle mémorisé comporte un contour au passage duquel se produit un accroissement abrupt de la raideur [K] simulant un contact, des moyens de calcul instantané du point de traversée du contour et de l'orientation de la normale au contour en ce point et en ce que
- 10 l'unité électronique est prévue pour maintenir l'orientation de l'effort [C] à chaque itération de cet effort par le bloc générateur jusqu'à réactualisation par le bloc recevant le modèle.

- 15 12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'unité électronique est reliée à un organe de visualisation (40) et/ou à un système d'application externe (76) capable de restituer à l'unité électronique des informations de rafraîchissement du modèle mathématique.

1/4

2706141

FIG.1.

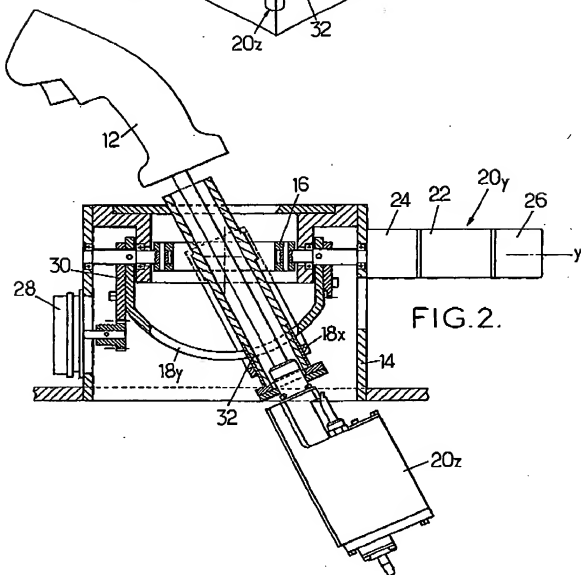
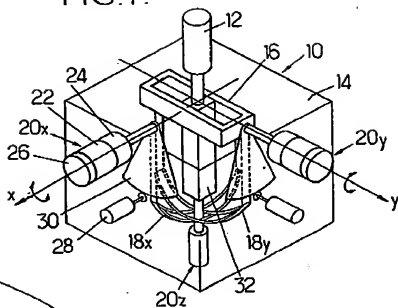
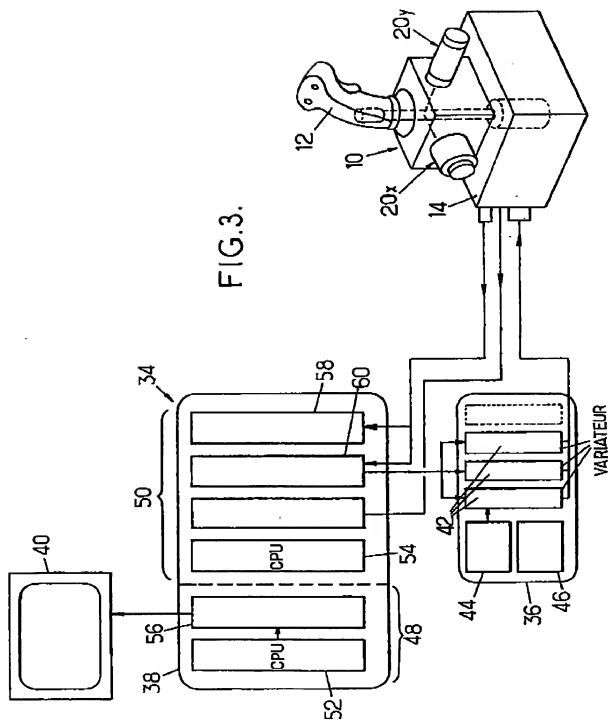


FIG.2.

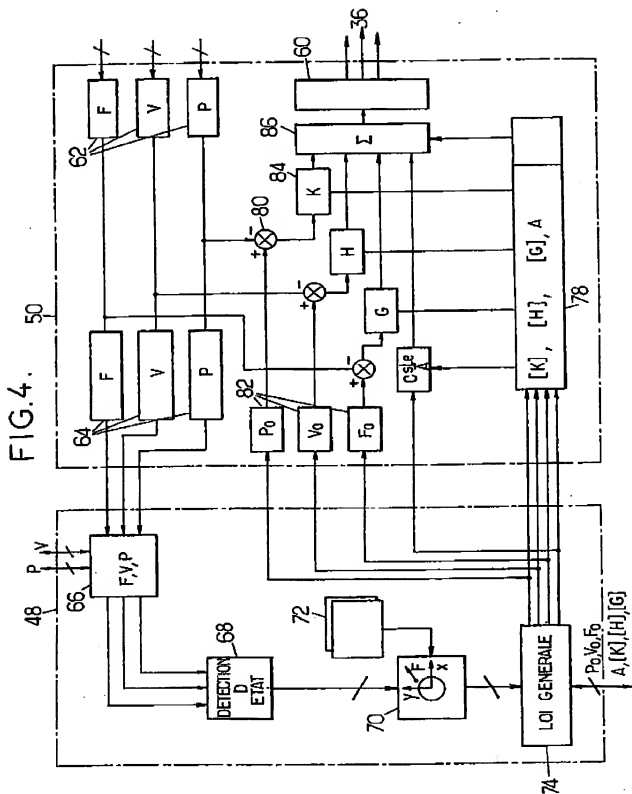
2/4

2706141



3/4

2706141



4/4

2706141

FIG. 5A.

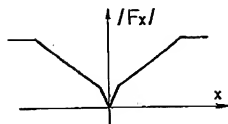


FIG. 5B.

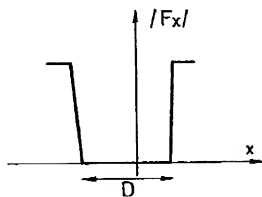


FIG. 6.

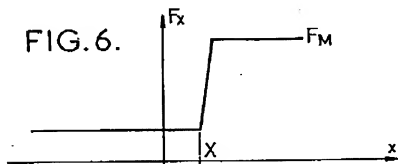


FIG. 7.

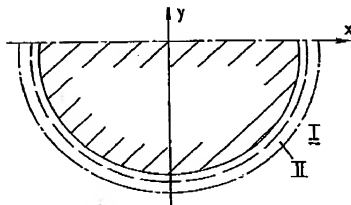
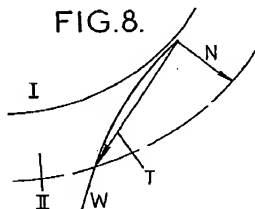


FIG. 8.



REPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE
PRELIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

2706141

N° d'enregistrement
national

FA 487263
FR 9306851

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande nationale
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	EP-A-0 353 841 (SPAR AEROSPACE LTD.) * colonne 3, ligne 11 - colonne 4, ligne 7 * * colonne 5, ligne 15 - ligne 25 * * colonne 5, ligne 30 - ligne 36 * * colonne 6, ligne 18 - colonne 7, ligne 22 * * colonne 10, ligne 6 - ligne 34 * * colonne 10, ligne 39 - ligne 55 * * colonne 12, ligne 15 - ligne 29; figures 1-3 *	1,3-6,9,11
A	EP-A-0 384 806 (AEROSPATIALE SOC. TE NATIONALE INDUSTRIELLE) * colonne 7, ligne 21 - colonne 8, ligne 57; figures 2,3 *	1,3,4,6
A	US-A-5 107 080 (ROSEN) * colonne 6, ligne 3 - ligne 64; figure 4 *	1,2,5
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (art. C.I.S.)
		G05G B64C B25J G06K G06F
Date d'achèvement de la recherche		Document
28 Février 1994		Zeri, A
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'ensemble d'un motif, une revendication ou une partie technologique générale O : divulgation non écrite P : document intermédiaire</p> <p>T : thèse ou principe à la base de l'invention E : document de brevet identifiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons</p> <p>A : membre de la même famille, document correspondant</p>		

2

BPO FORM 102 (Mars 1992)

JUN-13-2003 17:01

BHG & L

312 321 4299 P.29 ..